

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-242904

**(43)Date of publication of application : 07.09.2001**

(51)Int.Cl.

**G05B 13/02**

B23Q 5/22

**G05B 11/32**

**G05D 13/62**

H02P 5/00

(21)Application number : 2000-056865

(71)Applicant : NIPPON RELIANCE KK

(22)Date of filing : 02.03.2000

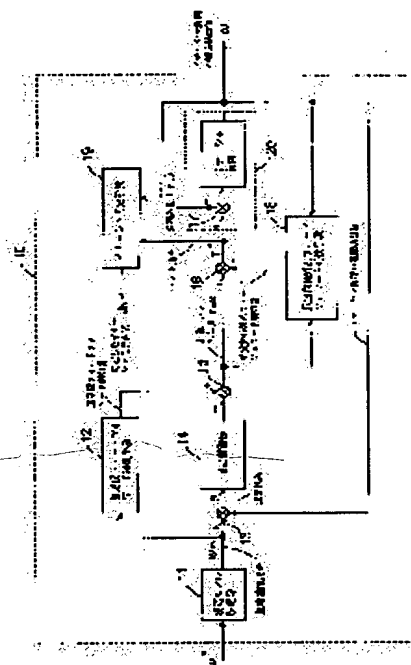
(72)Inventor: KAMIMOTO SADAO

**(54) SPEED CONTROL SYSTEM**

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a speed control system capable of improving the accuracy of speed control of a rotary travel cutting machine, a travel cutting machine and a sizing feed device, etc., the feed accuracy of position control, cut accuracy, and the form accuracy of a workpiece of a machine tool or the like.

**SOLUTION:** The speed control system 10 is composed of a normative model setting instrument 11, an acceleration feedforward compensating means 12, a subtracted 13, a speed controller 14, an adder 15, an adder 16, an estimated load disturbance feedforward compensating means 18, and an inertia identification means 19.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3370040

[Date of registration]

15.11.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**BEST AVAILABLE COPY**



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置において、  
前記速度指令を一次遅れ要素を持った規範速度指令に変換する規範モデル設定手段と、  
前記規範速度指令により、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷を制御する速度制御手段と、

イナーシャ負荷の速度を検出する手段と、

前記イナーシャ負荷の速度を検出する手段から速度検出値を求め帰還させ、前記速度検出値と前記規範速度指令とから速度誤差を求め制御する速度制御ループ手段と、  
前記速度制御ループ手段から求めたトルク指令と前記イナーシャ負荷の速度検出値とを演算することにより同定したイナーシャモデル値を出力するイナーシャ同定手段と、

前記規範速度指令と前記同定したイナーシャモデル値とを乗算し微分処理して加速度フィードフォワード制御量を求め、加速度フィードフォワードを補償する手段と、  
前記速度制御手段の出力である加速トルク補正值と前記加速度フィードフォワード制御量とを加算し、加速トルク制御量として出力する加速トルク指令手段と、  
前記加速トルク制御量を前記同定したイナーシャモデル値とを除算し積分処理して推定速度を求め、前記推定速度と前記イナーシャ負荷より検出した速度検出値との速度差から生じる推定負荷外乱フィードフォワード制御量を求めて推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段とを備え、

制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別モードを設けることなく  
前記加速度フィードフォワードを補償する手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段に与えることにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバーシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、速度応答を目標応答である規範モデル応答に一致させることを特徴とする速度制御装置。

【請求項 2】 前記イナーシャ同定手段は、

前記速度検出値を時間遅延を持った速度検出値に変換し、前記速度検出値との速度差、即ち、加速度を求める手段と、

前記加速度を補正前イナーシャと演算し推定加速トルクを求める加速トルク推定手段と、

前記加速トルク推定手段から出力した推定加速トルクを、前記トルク指令と演算することにより推定負荷トルクを求め、前記推定負荷トルクを前記トルク指令から減算して加速トルク指令を求め、この加速トルク指令から前記推定加速トルクを減算することにより同定誤差を求める手段と、

前記同定誤差を補正することにより補正イナーシャを出

力し、同定したイナーシャを時間遅延を持った補正前イナーシャに変換し、前記補正イナーシャとの和を求め同定したイナーシャモデル値を出力する手段と、  
前記同定したイナーシャモデル値を前記加速度フィードフォワード補償手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償手段に、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャとして同定のための特別モードを設けることなく与える手段と、を有することを特徴とする請求項 1 記載の速度制御装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置に関する。

**【0002】**

【従来の技術】 従来の速度制御装置は、速度指令である加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずる制御対象（例えば、電動機の回転速度）のオーバーシュートおよび／または負荷外乱（変動）による速度変動が生じるため、速度制御等の追従性能を低下させる。このため、速度制御の精度または位置決め精度を上げることができないので、材料等の送り精度、切断精度および加工精度を得ることができない。

【0003】 このような従来の速度制御装置について説明する。図 6 に従来の速度制御ブロック図を、図 7 に従来の速度制御ブロック図を伝達関数に変換した制御ブロック図を、図 8 に従来の加減速レート図を示す。

【0004】 図 6 に示すように、この速度制御装置は、速度指令  $\omega^*$  を減算器 51 を通して速度制御器 52 に入力し、その出力をイナーシャ負荷（制御対象）20 に入力して、イナーシャ負荷 20 において速度検出値  $\omega$  を検出する。この検出された速度検出値  $\omega$  を減算器 51 にフィードバックすることにより、速度制御ループを構成している。

【0005】 この速度制御器 52 の制御方式には、一般的に比例積分速度制御方式（以下 P I 速度制御という）が採用されている。このため、加減速を有する速度指令  $\omega^*$  を入力した場合、図 8 に示すように、変速領域から定速領域に移行する際に制御対象（例えば、電動機の回転速度）のオーバーシュートが生じ、また、負荷外乱による速度変動が生じることにより、速度制御装置等の追従性能を低下させる。このため、速度制御の精度または位置決め精度を上げることができないので、送り精度、切断精度および加工精度を得ることができない原因となっている。

【0006】 何れにしても速度指令である加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバーシュート、また、負荷外乱による速度変動は、P I 速度制御によるもので、例えば、比例制御の場合には、変速領域から定速領域に移行する時は、オーバーシュートは無くするが、負荷外乱が生じた場合、速度変動が定常偏差と

なる。

【0007】また、P I 速度制御の場合は、負荷外乱による速度変動の定常偏差は小さくなるが、オーバシュートが発生する。

【0008】このP I 速度制御について伝達関数を用いて説明する。図7は、図6の速度制御ループを伝達関数を用いて表現したもので、減算器51、比例速度制御器52A、積分速度制御器52B、加算器53、イナーシャ負荷20により構成される。

【0009】また、図7に示されたイナーシャ負荷20は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷で、速度制御装置は、P I 速度制御方式が採用されトルク応答の速い速度制御を行えるとしている。

【0010】この図7から、速度指令 $\omega^*$ と速度フィードバック $\omega$ との速度偏差 $e = \omega^* - \omega$ を比例制御器52Aを通し、加算器53による積分時間 $T_i$ の積分器52Bとの和をトルク指令としてイナーシャ負荷20に与えられる。

【0011】この場合、負荷外乱 $\tau_L$ に対する速度の応答は、

【0012】

【数1】

$$\omega = \frac{1}{K_v} \frac{T_i S}{1 + T_i S + \frac{J}{K_v} T_i S^2} \tau_L$$

【0013】となる。但し、Sは、微分演算子を示す。

【0014】また、速度指令 $\omega^*$ に対しては、

【0015】

【数2】

$$\omega = \frac{1 + T_i S}{1 + T_i S + \frac{J}{K_v} T_i S^2} \omega^*$$

【0016】となる。積分要素を有しない比例制御の場合の外乱応答は、 $T_i = \infty$ とにおいて、

【0017】

【数3】

$$\frac{\omega}{\tau_L} = \frac{1}{K_v} \frac{1}{1 + \frac{J}{K_v} S}$$

【0018】となり、また、目標値応答は、

【0019】

【数4】

$$\frac{\omega}{\omega^*} = \frac{1}{1 + \frac{J}{K_v} S}$$

【0020】となる。

【0021】以上述べたように、定常の負荷外乱 $\tau_L$ に対し速度変動を零にするためには、P I 速度制御の外乱応答が必要とされるため、加減速を有する速度指令に対する目標応答は図8のようにオーバシュートが発生す

る。また、比例制御の場合は、速度指令に対する目標応答はオーバシュートを発生しないが、外乱応答では負荷外乱 $\tau_L$ に対し定常速度偏差が生じることになる。

【0022】このP I 速度制御は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷20の補償条件によっては、速度制御系の応答速度が妨げられるので、目標とする速度制御特性を満たすことができないという問題がある。

【0023】また、P I 速度制御は、前述したように、定常状態で速度指令値と一致するが、速度の立ち上がり10にオフセットが発生するため滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題がある。

【0024】この問題の対策の一つとして、速度制御の上位にある位置制御にフィードフォワード制御方式が用いられている。例えば、特開平5-19861号公報には、工作機械の送り軸モータの位置等を制御する位置制御装置では、位置制御ループと速度制御ループを備えた位置制御装置が開示され、追従性能を高め、オーバシュートを無くすために位置制御ループにフィードフォワード制御方式が用いられている。20

【0025】この位置制御装置では、電動機の位置を検出する位置検出器と、この位置検出器が出力する位置検出値より速度検出値を求める速度検出器とを備えているが、本来、オーバシュートおよび追従性能に起因する問題は、基本的には速度制御によるもので、これらの問題は位置制御のみで解決できるものではない。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、速度制御においてP I 速度制御は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷の補償条件によつては、速度制御系の応答速度が妨げられるので、目標とする速度制御特性を満たすことができないという問題がある。

【0027】このことは、定常の負荷外乱に対し速度変動を零にするためにはP I 速度制御の外乱応答が必要とされるため、P I 速度制御では、加減速を有する速度指令の目標応答はオーバシュートが発生する問題、比例制御では、速度指令の目標応答はオーバシュートを発生しないが、外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、定常状態では速度指令値と一致するが、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題がある。

【0028】また、前述したように、特開平5-19861号公報には、工作機械の送り軸モータの位置等を制御する位置制御装置であつて、位置制御ループと速度制御ループを備えた位置制御装置が開示されているように、位置制御装置の追従性能を高め、また、オーバシュートを無くすために位置制御ループにフィードフォー

ド制御方式が用いられ、これらの問題を解決しようとしているが、本来、追従性能およびオーバーシュートの問題の起因は、位置制御によるものもあるが、基本的には速度制御の起因によるもので、これらの問題は位置制御のみで解決できるものではない。

【0029】このように、P-I速度制御によつては、加減速レートを有する速度指令の場合、変速領域から定速領域に移行する際に、イナーシャ負荷（電動機の回転速度）にオーバーシュートが生ずる問題、負荷変動による速度変動が生じる問題等は、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の位置制御または速度制御の精度に大きく影響するため、送り精度および／または材料の切断精度が悪くなる。

【0030】また、工作機械等では、変速領域から定速領域に移行する際に生じる電動機の回転速度のオーバーシュートは、同期位置制御時に軌跡誤差として現れ、加工物の形状精度を低下させたり、面荒さを低下させたりの問題がある。

【0031】そこで、本発明の目的は、P-I速度制御により生ずるオーバーシュートが発生する問題、比例制御で外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバーシュートが発生するという問題を解決し、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の速度制御の精度を向上させ、位置制御の送り精度、切断精度および工作機械等の加工物の形状精度を向上させることにある。

#### 【0032】

【課題を解決するための手段】本発明の速度制御装置によれば、速度指令信号を一次遅れ要素を持った規範速度指令とした速度制御手段と、イナーシャ負荷から検出する速度信号をフィードバックする速度制御ループとを構成し、この速度制御ループに加速度フィードフォワード補償手段、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段およびイナーシャ同定手段を付加し、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、例えば、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定することにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバーシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答（速度応答）を規範モデル応答に一致させるようにしている。

【0033】本発明は、加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置において、前記速度指令を一次遅れ要素を持った規範速度指令に変換する規範モデル設定手段と、前記規範速度指令により、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷を制御する速度制御手段と、前記イナーシャ負荷の速度を検出する手段から速度検出値を求め帰還させ、前記速度検出値と前記規範速度指令とから速度誤差を求め制御する速度制御ループ

プ手段と、前記速度制御ループ手段から求めたトルク指令と前記イナーシャ負荷の速度検出値とにより同定したイナーシャモデル値を出力するイナーシャ同定手段と、前記規範速度指令と前記同定したイナーシャモデル値とを乗算し微分処理して加速度フィードフォワード制御量を求め、加速度フィードフォワードを補償する手段と、前記速度制御器の出力である加速トルク補正值と前記加速度フィードフォワード制御量とを加算し、加速トルク制御量として出力する加速トルク指令手段と、前記加速トルク制御量を前記同定したイナーシャモデル値を除算し積分処理して推定速度を求め、前記推定速度と前記イナーシャ負荷より検出した速度検出値との速度差から生じる推定負荷外乱フィードフォワード制御量を求め推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段とを備え、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモードを設けることなく前記加速度フィードフォワードを補償する手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段に与えることにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバーシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答を規範モデル応答に一致させることを特徴とするものである。

【0034】本発明によれば、前記イナーシャ同定手段は、前記速度検出値を時間遅延を持った速度検出値に変換し、前記速度検出値との速度差、即ち、加速度を求める手段と、前記加速度を補正前イナーシャと演算し推定加速トルクを求める加速トルク推定手段と、前記加速トルク推定手段から出力した推定加速トルクを、前記トルク指令と演算することにより推定負荷トルクを求め、前記推定負荷トルクを前記トルク指令から減算して加速トルク指令を求め、この加速トルク指令から前記推定加速トルクを減算することにより同定誤差を求める手段と、前記同定誤差を補正することにより補正イナーシャを出力し、同定したイナーシャを時間遅延を持った補正前イナーシャに変換し、前記補正イナーシャとの和を求め同定したイナーシャモデル値を出力する手段と、前記同定したイナーシャモデル値を前記加速度フィードフォワード補償手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償手段に、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャとして同定のための特別定モードを設けることなく与える手段と、を有している。

#### 【0035】

【発明の実施の形態】本発明の速度制御装置の実施例について説明する。図1は、本発明の実施例である速度制御装置の構成を示すブロック図である。図2は、図1の速度制御装置を伝達関数で表したブロック図である。図3は、図1の速度制御装置に用いられるイナーシャ同定手段の構成を示すブロック図である。図5は、本発明の速度制御装置によりオーバーシュートをなくした加減速レート図である。

【0036】図1を参照して、本発明の実施例である速度制御装置を説明する。この速度制御装置10は、規範モデル設定器11、加速度フィードフォワード補償手段12、減算器13、速度制御器14、加算器15、加算器16、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18、イナーシャ同定手段19により構成されている。

【0037】図2は、図1の速度制御装置を伝達関数を用いて表したブロック図で、加速度フィードフォワード補償手段12には微分器21が含まれ、推定負荷外乱フィードフォワード制御器18には、イナーシャ負荷モデル（積分器）22、減算器23、負荷外乱フィードフォワード制御器（係数K）24が含まれている。

【0038】規範モデル設定器11に速度指令 $\omega^*$ が入力されると、入力された速度指令 $\omega^*$ は、一次遅れ要素を持った規範速度指令 $\omega$ 。として出力される。この出力された規範速度指令 $\omega$ 。は、速度制御器14、加算器15、16を経由して、イナーシャ負荷20に入力され、イナーシャ負荷が駆動される。駆動されたイナーシャ負荷20から速度検出値 $\omega$ を検出し、その速度検出値 $\omega$ を減算器13にフィードバックして減算することにより、速度誤差 $e$ を出力する速度制御ループを構成している。

【0039】一方、規範モデル設定器11より出力された一次遅れ要素を持った規範速度指令 $\omega$ 。は、速度制御器14と加速度フィードフォワード補償手段12に各々入力され、速度制御器14からはトルク補正信号が出力される。

【0040】そして、加速度フィードフォワード補償手段12の微分器21により規範速度指令 $\omega$ 。を微分し、イナーシャ同定手段19により同定されたイナーシャモデル( $J_h$ )と演算することにより加速度トルク補正信号を出力し、この加速度トルク補正信号と速度制御器14の出力信号であるトルク補正信号とを加算器15で加算し、加速トルク信号 $\tau_{acc}$ として出力している。

【0041】この加速トルク信号 $\tau_{acc}$ は、加算器16と推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に各々入力され、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に入力された加速トルク信号 $\tau_{acc}$ は、積分器22に入力され、加速トルク信号 $\tau_{acc}$ を積分しイナーシャ同定手段19により同定されたイナーシャモデル( $J_h$ )と演算することにより、推定速度 $\omega_h$ を出力する。

【0042】この推定速度 $\omega_h$ とイナーシャ負荷20により検出された速度検出値 $\omega$ とを減算器23で減算し、その信号を推定負荷外乱フィードフォワード制御器（係数K）24に入力し、設定された係数Kとにより演算し、その出力信号を負荷外乱トルク補正信号として、加算器16で加速トルク信号 $\tau_{acc}$ と加算して、トルク指令信号 $\tau^*$ として出力する。

【0043】このトルク指令信号 $\tau^*$ は、イナーシャ同定手段19とイナーシャ負荷20に入力される。イナーシャ負荷へのトルク指令信号 $\tau^*$ は、負荷外乱（変動） $\tau_L$ により減算され、イナーシャ負荷20を駆動する。

【0044】駆動したイナーシャ負荷20から検出された速度検出値 $\omega$ は、イナーシャ同定手段19に入力され、イナーシャ同定手段19に入力されたトルク指令信号 $\tau^*$ とにより演算し、イナーシャ同定手段19からイナーシャ負荷20のイナーシャモデル( $J_h$ )として、加速度フィードフォワード補償手段12および推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に供給する。

【0045】次に、イナーシャ同定手段19を、図3を参照して説明する。

【0046】イナーシャ同定手段19は、遅延回路31、減算器32、加速トルク推定器33、減算器34、同定誤差補正器35、加算器36、遅延回路37、減算器38、負荷トルク推定器39により構成されている。

【0047】先に述べたようにイナーシャ同定手段19は、加算器16で加算されたトルク指令信号 $\tau^*$ と、イナーシャ負荷20により検出された速度検出値 $\omega$ とが入力される。入力された速度検出値 $\omega$ は、遅延回路31に入力される。遅延回路31の出力と速度検出値 $\omega$ とが減算器32とにより減算される。

【0048】減算により得られた値 $\Delta\omega$ は、加速度として加速トルク推定器33に入力され、推定加速トルク $\tau_{ha}$ として出力される。この推定加速トルク $\tau_{ha}$ は、トルク指令信号 $\tau^*$ と共に負荷トルク推定器39に入力され、負荷トルク推定器39は推定負荷トルク $\tau_{hl}$ を出力する。

【0049】出力した推定負荷トルク $\tau_{hl}$ は、減算器38でトルク指令信号 $\tau^*$ から減算され、加速トルク指令信号 $\tau$ 。を出力する。この加速トルク指令信号 $\tau$ 。は、減算器34で推定加速トルク $\tau_{ha}$ が減算され、その減算した値を同定誤差信号として同定誤差補正器35に入力する。

【0050】同定誤差補正器35に入力された同定誤差信号は、補正イナーシャとして加算器36で補正前イナーシャと加算され、同定イナーシャ( $J_h$ )として出力される。一方、同定イナーシャ( $J_h$ )は、遅延回路37に入力され、その出力は、補正前イナーシャとして加速トルク推定器33にフィードバックされる。

【0051】次に、イナーシャ同定手段19の同定について説明する。この同定は、逐次最小2乗法により、イナーシャモデル( $J_h$ )を次式により求める。

【0052】

【数5】

$$J_h(n) = J_h(n-1) + T_s \frac{\gamma \Delta \omega(n) [|\tau^*(n) - \tau_{hl}(n)| - J_h(n-1) \frac{\Delta \omega(n)}{T_s}]}{1 + \gamma \Delta \omega^2(n)}$$

【0053】但し、 $\Delta \omega(n) = \omega(n) - \omega(n-1)$  : 速度変化率、 $T_s$  : サンプルング時間、 $\gamma$  : 同定ゲインである。また、次式

【0054】

【数6】

$$\tau_{hl}(n) = \tau^*(n) - J_h(n-1) \frac{\Delta \omega(n)}{T_s}$$

【0055】より、

【0056】

【数7】

$$\left| \frac{\Delta \omega(n)}{T_s} \right| \cong 0$$

【0057】の一定速における負荷トルクとして推定負荷トルク  $\tau_{hl}$  を推定する。

【0058】次に、同定したイナーシャモデル ( $J_h$ ) を、図2の推定負荷外乱フィードフォード補償手段18

$$\omega = \frac{J_h s}{J_h s + K_v} \frac{1}{J_s + K} \tau_L = \frac{1}{K K_v} \frac{J_h s}{(1 + \frac{J_h}{K_v} s) (1 + \frac{J}{K} s)} \tau_L$$

【0063】となる。

【0064】次に、イナーシャ負荷20がイナーシャモデル ( $J_h$ ) に固定されているので、加速度フィードフォード補償手段12の加速度フィードフォード補償器21に  $J_h s$  を与えることにより、

【0065】

【数10】

$$\omega = \frac{1}{1 + \frac{J_h}{K_v} s} (1 + \frac{J_h}{K_v} s) \omega_m = \omega_m$$

【0066】となり、速度指令  $\omega^*$  に対する速度応答  $\omega$  は、

【0067】

【数11】

$$\omega_m = G_m(s) \omega^*$$

【0068】となるので、 $\omega = G_m(s) \omega^*$  となり、規範モデル設定器 (規範モデル応答) 11の  $G_m(s)$  と一致する。

【0069】この規範モデル設定器11を

【0070】

【数12】

$$G_m(s) = \frac{1}{1 + T_m s}$$

【0071】となる一次遅れ応答に選択すれば、速度応答  $\omega$  は、

【0072】

【数13】

$$\omega = \frac{1}{1 + T_m s} \omega^*$$

【0073】となり、図5に示すように、加減速を対する目標値応答にオーバーシュートを発生することなく、且

のイナーシャ負荷モデル (積分器) 22に与えることにより推定速度  $\omega_h$  は、

【0059】

【数8】

$$\omega_h = \frac{1}{J_h s} \tau_{acc}$$

【0060】となり、実速度  $\omega$  との偏差は、負荷外乱により発生する速度偏差となる。推定負荷外乱フィードフォード器24を通して高いゲインを与えると、負荷外乱  $\tau_L$  による速度変動が抑制可能となり、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷20を、イナーシャモデル  $1/J_h s$  に固定することができる。

【0061】また、外乱応答は、同定イナーシャ  $J_h$  が制御対象のイナーシャ  $J$  に等しい ( $J_h = J$ ) の場合、

【0062】

【数9】

20 つ、負荷外乱  $\tau_L$  に対し速度偏差が生じない応答が得られる。

【0074】以上説明した通り、イナーシャ負荷20の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、即ち、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定し、同定したイナーシャ ( $J_h$ ) から得られる推定速度  $\omega_h$  と実速度  $\omega$  の差から負荷外乱  $\tau_L$  を推定して推定負荷外乱フィードフォード補償することにより、同定イナーシャモデル ( $J_h$ ) に固定可能となったイナーシャ負荷20に加速度フィードフォード補償と、目標応答の規範モデルを与えることにより、可変速指令に対して速度応答を規範モデルの応答に一致させることが可能となり、同時に定常の負荷変動も抑制可能となり、上位に位置制御器を有する回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置、工作機械等の可変速制御装置の位置決め精度が向上する。

【0075】図4は、本発明の速度制御装置10を、ロータリーカッタ装置に適用した例を示す。

40 【0076】図4に示すように、軸方向周囲に刃を有する一対のロータリーカッタ2があり、このロータリーカッタ2の主軸には減速ギヤ3が取り付けられ、ロータリーカッタ2を駆動するための電動機4が結合されている。この電動機には、電動機の回転速度と電動機回転角、即ち、ロータリーカッタ2の主軸の回転角を検出するためのパルスジェネレータ5が備えられている。

【0077】一方、走行するシート1の移動量を検出するための測長ホイール7が備えられ、この測長ホイール7の軸には、移動量を検出するためのパルスジェネレータ8が備えられている。このロータリーカッタ2の数値制御装置は、位置制御装置40と、本発明に係る速度制

御装置 1 0 とを備えている。位置制御装置 4 0 は、積分器 4 1、位置指令発生器 4 2、微分器 4 3、加減算器 4 4、積分器 4 5、位置制御器 (K。) 4 6、加算器 4 7、位置指令フィードフォワード補償 ( $\alpha$ ) 4 8、加算器 4 9 により構成されている。

【0078】シート 1 の走行に伴いパルスジェネレータ 8 より発生するパルスを、積分器 4 1 に入力する。入力されたパルスは、積分器 4 1 により時間積分されることにより材料移動距離  $X$  として出力され、位置指令発生器 4 2 に入力される。この位置指令発生器 4 2 は、切断長  $L$  にしたがって作られた任意の速度指令に応じて材料移動距離  $X$  の関数として位置指令  $f(x)$  を与える。

【0079】一方、ロータリーカッタ 2 の回転に伴いパルスジェネレータ 5 より発生するパルスからロータリーカッタ 2 の移動速度  $V_r$  が得られる。

【0080】位置指令発生器 4 2 の出力、即ち、位置指令  $f(x)$  を微分器 4 3 により時間微分することにより得られたカッタ速度指令  $df(x)/dt$  は、加減算器 4 4 により、材料速度  $V_r$  およびカッタ速度  $V_c$  と加減算され積分器 4 5 に入力され、位置偏差  $e$  が得られる。この位置偏差  $e$  は、位置制御器 4 6 に入力され補償速度  $V$  として出力される。

【0081】補償速度  $V$  には、加算器 4 9、4 7 により、カッタ速度指令および材料速度が加えられ、速度指令  $\omega^*$  が形成される。この速度指令  $\omega^*$  が、速度制御装置 1 0 に与えられる。速度制御装置 1 0 により、前述したようにしてトルク指令信号  $\tau^*$  が形成され、駆動制御回路 6 に供給される。

【0082】このロータリーカッタ装置によれば、本発明の速度制御装置を用いているので、切断精度が向上する。

#### 【0083】

【発明の効果】本発明の速度制御装置によれば、速度指令信号を一次遅れ要素を持った規範速度指令とした速度制御手段と、イナーシャ負荷から検出する速度信号をフィードバックする速度制御ループとを構成し、この速度制御ループに加速度フィードフォワード補償手段、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段およびイナーシャ同定手段を付加し、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、例えば、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定することにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答 (速度応答) を規範モデル応答に一致させることにより、P I 速度制御により生ずるオーバシュートが発生する問題、比例制御で外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバ

シュートが発生するという問題等を解決し、より高精度の速度制御をすることができるので、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の速度制御の精度を向上させ、位置制御の送り精度、切断精度および工作機械等の加工物の形状精度を向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を実施した速度制御装置を構成するブロック図である。

【図 2】本発明の実施例である速度制御装置を伝達関数で表した制御ブロック図である。

【図 3】本発明の速度制御装置に用いられたイナーシャ同定手段のブロック図である。

【図 4】本発明を実施したロータリーカッタ制御装置のブロック図である。

【図 5】本発明を実施した速度制御装置によりオーバシュートをなくした加減速レート図である。

【図 6】従来の速度制御ブロック図である。

【図 7】従来の速度制御装置を伝達関数で表した制御ブロック図である。

【図 8】従来の加減速レート図である。

#### 【符号の説明】

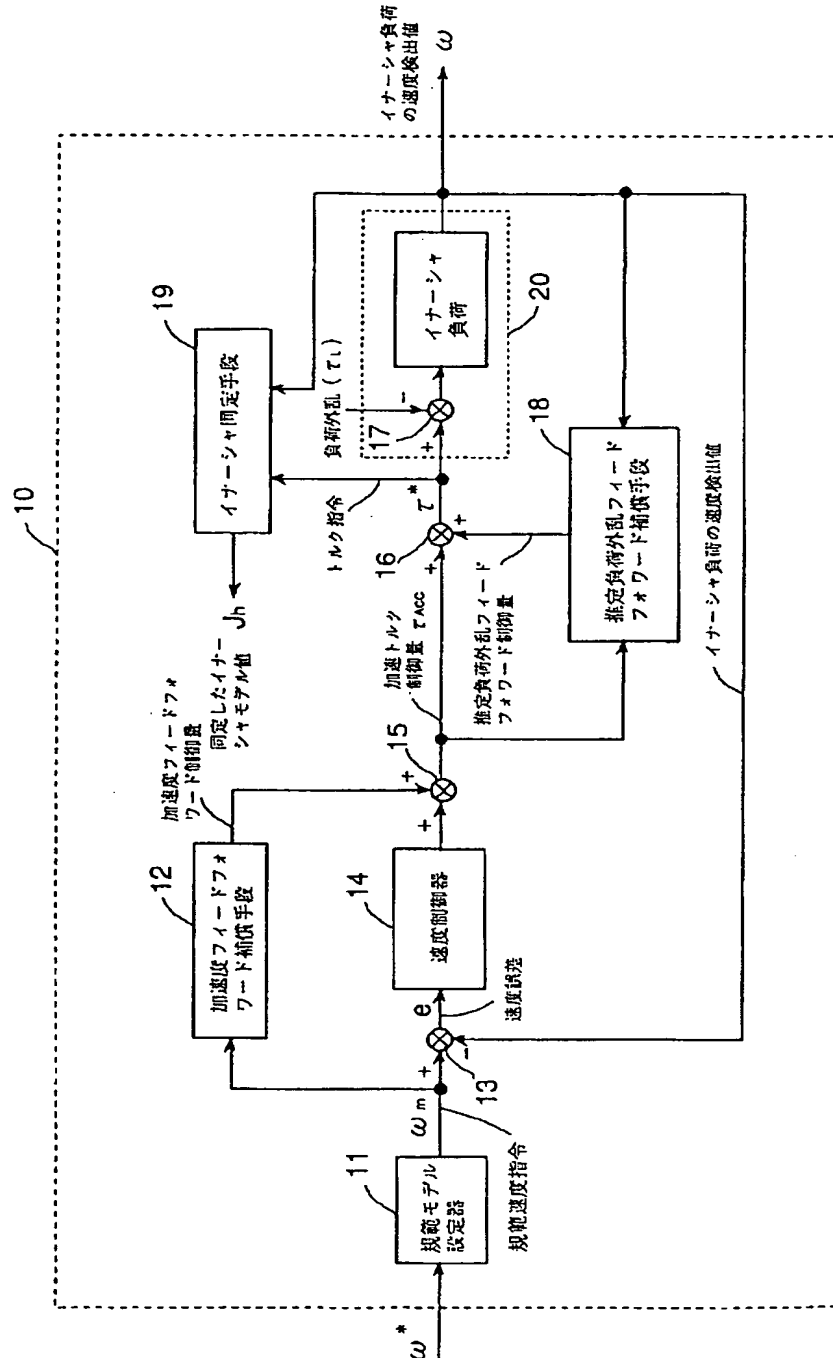
- 1 走行する材料
- 2 ロータリーシャ
- 3 ギヤ
- 4 電動機
- 5 パルスジェネレータ
- 6 駆動制御回路
- 7 測長ロール
- 8 パルスジェネレータ
- 10 速度制御装置
- 11 規範モデル設定器 ( $G_c(s)$ )
- 12 加速度フィードフォワード補償手段
- 13 減算器
- 14 速度制御器 ( $K_v$ )
- 15 加算器
- 16 加算器
- 17 減算器
- 18 推定負荷外乱フィードフォワード補償手段
- 19 イナーシャ同定手段 (器)
- 20 イナーシャ負荷制御対象 ( $1/J_s$ )
- 21 加速度フィードフォワード補償器 ( $J_a s$ )
- 22 イナーシャ負荷モデル ( $1/J_h s$ )
- 23 減算器
- 24 負荷外乱フィードフォワード制御器 ( $K$ )
- 31 遅延回路 ( $Z^{-1}$ )
- 32 減算器
- 33 加速トルク推定器
- 34 減算器
- 35 同定誤差補正器
- 36 加算器



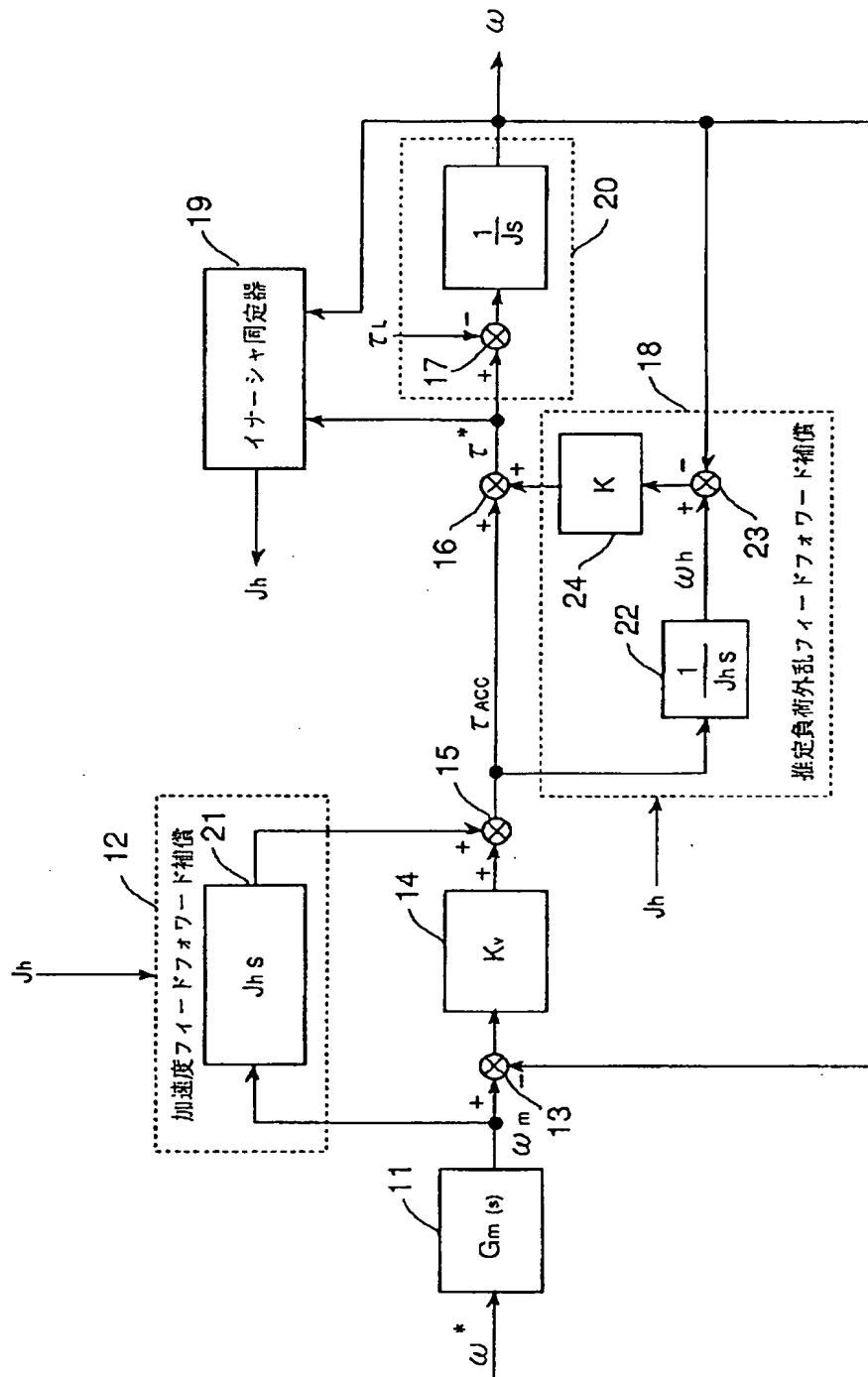
- 37 遅延回路 ( $Z^{-1}$ )  
 38 減算器  
 39 負荷トルク推定器  
 40 位置制御装置  
 41 積分器  
 42 位置指令発生器  
 43 微分器

- 44 加減算器  
 45 積分器  
 46 位置制御器 ( $K_p$ )  
 47 加算器  
 48 位置指令フィードフォワード補償 ( $\alpha$ )  
 49 加算器

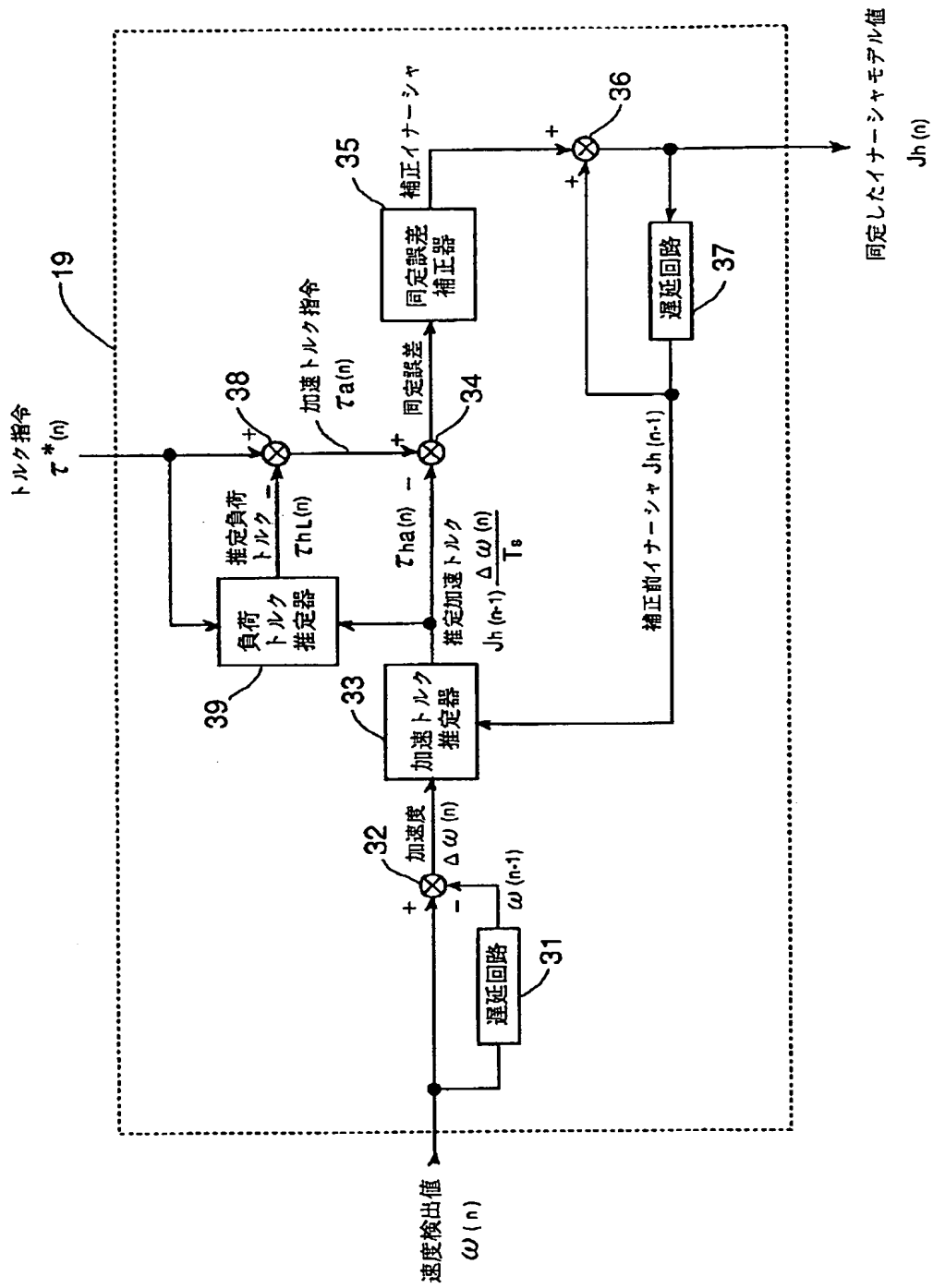
【図 1】



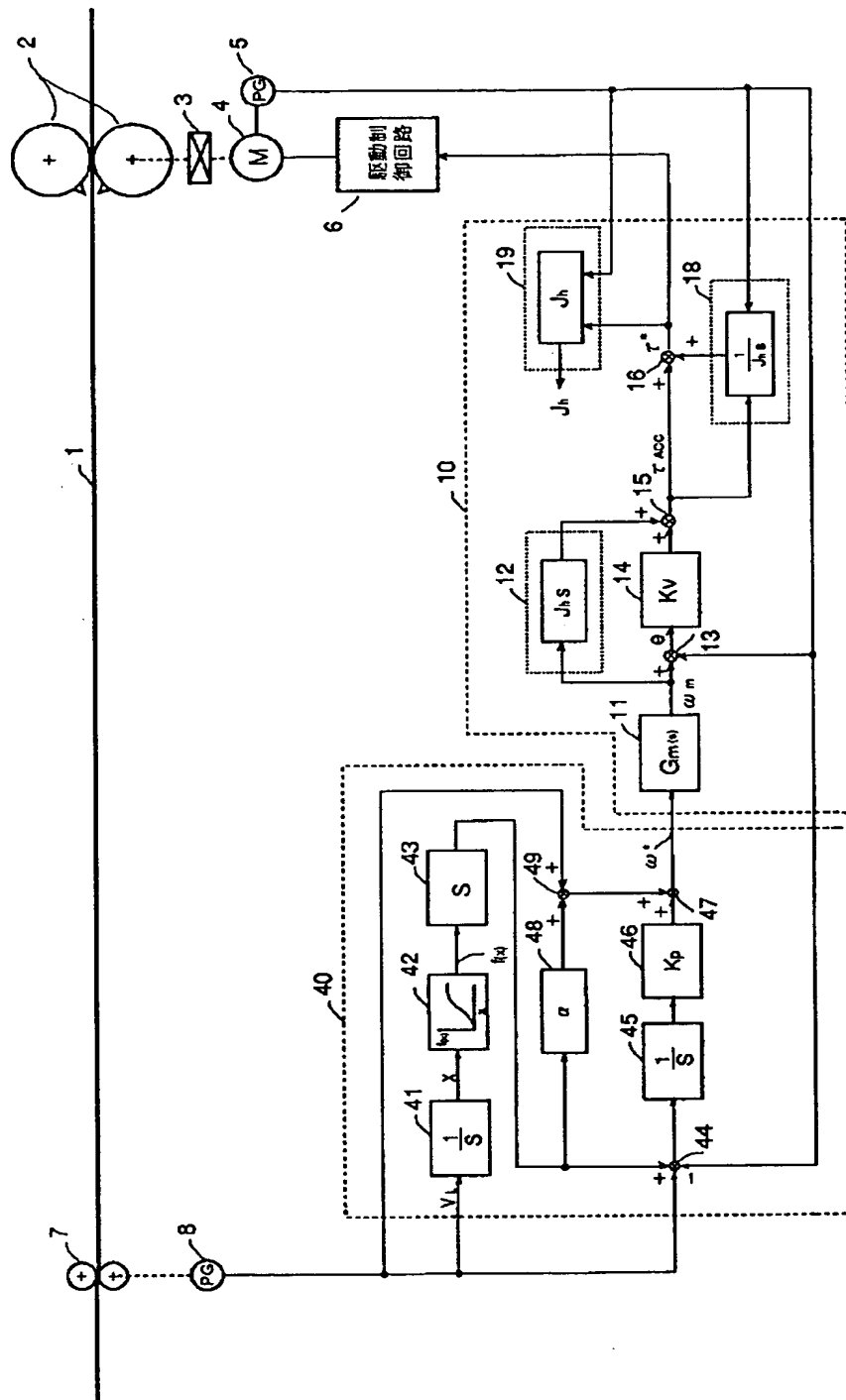
【図 2】



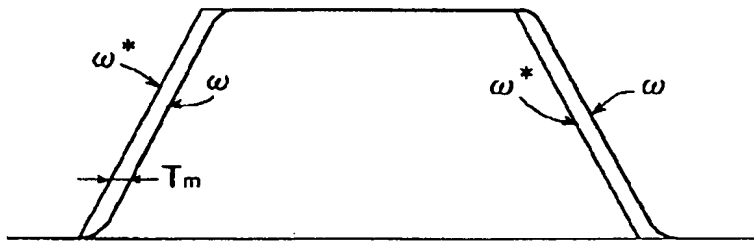
【図 3】



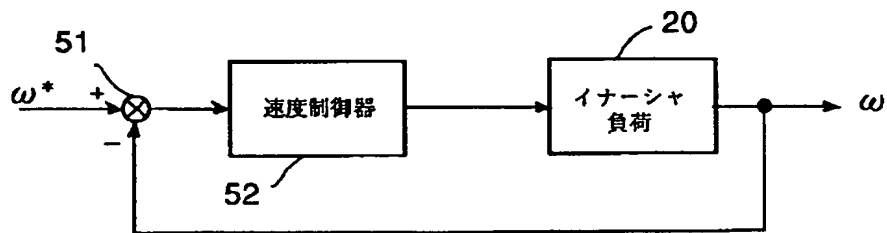
【図 4】



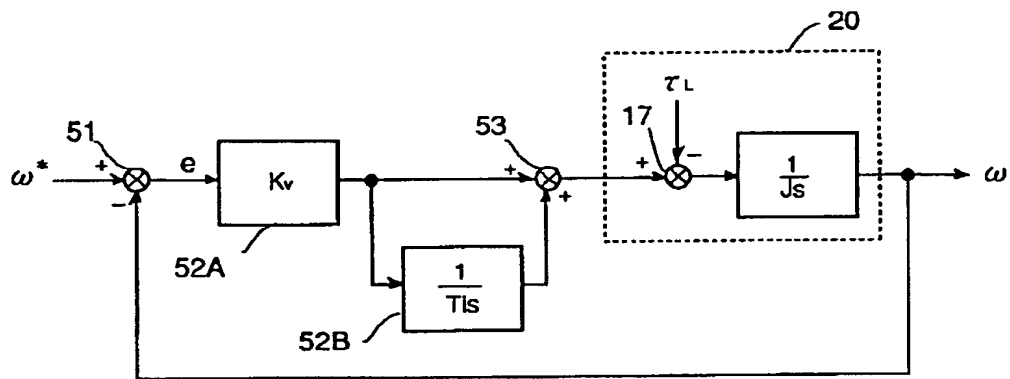
【図 5】



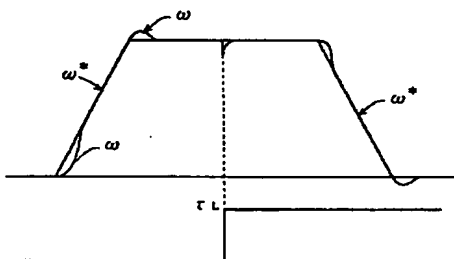
【図 6】



【図 7】



【図 8】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年3月31日(2000. 3. 31)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】速度制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置において、

前記速度指令を一次遅れ要素を持った規範速度指令に変換する規範モデル設定手段と、

前記規範速度指令により、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷を制御する速度制御手段と、

イナーシャ負荷の速度を検出する手段と、

前記イナーシャ負荷の速度を検出する手段から速度検出値を求め帰還させ、前記速度検出値と前記規範速度指令とから速度誤差を求め制御する速度制御ループ手段と、前記速度制御ループ手段から求めたトルク指令と前記イナーシャ負荷の速度検出値とを演算することにより同定したイナーシャモデル値を出力するイナーシャ同定手段と、

前記規範速度指令と前記同定したイナーシャモデル値とを乗算し微分処理して加速度フィードフォワード制御量を求め、加速度フィードフォワードを補償する手段と、前記速度制御手段の出力である加速トルク補正值と前記加速度フィードフォワード制御量とを加算し、加速トルク制御量として出力する加速トルク指令手段と、

前記加速トルク制御量を前記同定したイナーシャモデル値とを除算し積分処理して推定速度を求め、前記推定速度と前記イナーシャ負荷より検出した速度検出値との速度差から生じる推定負荷外乱フィードフォワード制御量を求めて推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段とを備え、

制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別モードを設けることなく前記加速度フィードフォワードを補償する手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段に与えることにより、

加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、速度応答を目標応答である規範モデル応答に一致させることを特徴とする速度制御装置。

【請求項2】前記イナーシャ同定手段は、前記速度検出値を時間遅延を持った速度検出値に変換し、前記速度検出値との速度差、即ち、加速度を求める

手段と、

前記加速度を補正前イナーシャと演算し推定加速トルクを求める加速トルク推定手段と、

前記加速トルク推定手段から出力した推定加速トルクを、前記トルク指令と演算することにより推定負荷トルクを求め、前記推定負荷トルクを前記トルク指令から減算して加速トルク指令を求め、この加速トルク指令から前記推定加速トルクを減算することにより同定誤差を求める手段と、

前記同定誤差を補正することにより補正イナーシャを出力し、同定したイナーシャを時間遅延を持った補正前イナーシャに変換し、前記補正イナーシャとの和を求め同定したイナーシャモデル値を出力する手段と、

前記同定したイナーシャモデル値を前記加速度フィードフォワード補償手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償手段に、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャとして同定のための特別モードを設けることなく与える手段と、を有することを特徴とする請求項1記載の速度制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の速度制御装置は、速度指令である加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずる制御対象(例えば、電動機の回転速度)のオーバシュートおよび/または負荷外乱(変動)による速度変動が生じるため、速度制御等の追従性能を低下させる。このため、速度制御の精度または位置決め精度を上げることができないので、材料等の送り精度、切断精度および加工精度を得ることができない。

【0003】このような従来の速度制御装置について説明する。図6に従来の速度制御ブロック図を、図7に従来の速度制御ブロック図を伝達関数に変換した制御ブロック図を、図8に従来の加減速レート図を示す。

【0004】図6に示すように、この速度制御装置は、速度指令 $\omega^*$ を減算器51を通して速度制御器52に入力し、その出力をイナーシャ負荷(制御対象)20に入力して、イナーシャ負荷20において速度検出値 $\omega$ を検出する。この検出された速度検出値 $\omega$ を減算器51にフィードバックすることにより、速度制御ループを構成している。

【0005】この速度制御器52の制御方式には、一般的に比例積分速度制御方式(以下PI速度制御という)が採用されている。このため、加減速を有する速度指令 $\omega^*$ を入力した場合、図8に示すように、変速領域から定速領域に移行する際に制御対象(例えば、電動機の回転速度)のオーバシュートが生じ、また、負荷外乱によ

る速度変動が生じることにより、速度制御装置等の追従性能を低下させる。このため、速度制御の精度または位置決め精度を上げることができないので、送り精度、切断精度および加工精度を得ることができない原因となっている。

【0006】何れにしても速度指令である加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュート、また、負荷外乱による速度変動は、PI速度制御によるもので、例えば、比例制御の場合には、変速領域から定速領域に移行する時は、オーバシュートは無くなるが、負荷外乱が生じた場合、速度変動が定常偏差となる。

【0007】また、PI速度制御の場合は、負荷外乱による速度変動の定常偏差は小さくなるが、オーバシュートが発生する。

【0008】このPI速度制御について伝達関数を用いて説明する。図7は、図6の速度制御ループを伝達関数を用いて表現したもので、減算器51、比例速度制御器52A、積分速度制御器52B、加算器53、イナーシャ負荷20により構成される。

【0009】また、図7に示されたイナーシャ負荷20は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷で、速度制御装置は、PI速度制御方式が採用されトルク応答の速い速度制御を行えるとしている。

【0010】この図7から、速度指令 $\omega^*$ と速度フィードバック $\omega$ との速度偏差 $e = \omega^* - \omega$ を比例制御器52Aを通し、加算器53による積分時間 $T_i$ の積分器52Bとの和をトルク指令としてイナーシャ負荷20に与えられる。

【0011】この場合、負荷外乱 $\tau_L$ に対する速度の応答は、

【0012】

【数1】

$$\omega = \frac{1}{K_v} \frac{T_i S}{1 + T_i S + \frac{J}{K_v} T_i S^2} \tau_L$$

【0013】となる。但し、Sは、微分演算子を示す。

【0014】また、速度指令 $\omega^*$ に対しては、

【0015】

【数2】

$$\omega = \frac{1 + T_i S}{1 + T_i S + \frac{J}{K_v} T_i S^2} \omega^*$$

【0016】となる。積分要素を有しない比例制御の場合の外乱応答は、 $T_i = \infty$ において、

【0017】

【数3】

$$\frac{\omega}{\tau_L} = \frac{1}{K_v} \frac{1}{1 + \frac{J}{K_v} S}$$

【0018】となり、また、目標値応答は、

【0019】

【数4】

$$\frac{\omega}{\omega^*} = \frac{1}{1 + \frac{J}{K_v} S}$$

【0020】となる。

【0021】以上述べたように、定常の負荷外乱 $\tau_L$ に対し速度変動を零にするためには、PI速度制御の外乱応答が必要とされるため、加減速を有する速度指令に対する目標応答は図8のようにオーバシュートが発生する。また、比例制御の場合は、速度指令に対する目標応答はオーバシュートを発生しないが、外乱応答では負荷外乱 $\tau_L$ に対し定常速度偏差が生じることになる。

【0022】このPI速度制御は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷20の補償条件によっては、速度制御系の応答速度が妨げられるので、目標とする速度制御特性を満たすことができないという問題がある。

【0023】また、PI速度制御は、前述したように、定常状態で速度指令値と一致するが、速度の立ち上がりにはオフセットが発生するため滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題がある。

【0024】この問題の対策の一つとして、速度制御の上位にある位置制御にフィードフォワード制御方式が用いられている。例えば、特開平5-19861号公報には、工作機械の送り軸モータの位置等を制御する位置制御装置では、位置制御ループと速度制御ループを備えた位置制御装置が開示され、追従性能を高め、オーバシュートを無くすために位置制御ループにフィードフォワード制御方式が用いられている。

【0025】この位置制御装置では、電動機の位置を検出する位置検出器と、この位置検出器が出力する位置検出値より速度検出値を求める速度検出器とを備えているが、本来、オーバシュートおよび追従性能に起因する問題は、基本的には速度制御によるもので、これらの問題は位置制御のみで解決できるものではない。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、速度制御においてPI速度制御は、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷の補償条件によっては、速度制御系の応答速度が妨げられるので、目標とする速度制御特性を満たすことができないという問題がある。

【0027】このことは、定常の負荷外乱に対し速度変

動を零にするためには P I 速度制御の外乱応答が必要とされるため、P I 速度制御では、加減速を有する速度指令の目標応答はオーバシュートが発生する問題、比例制御では、速度指令の目標応答はオーバシュートが発生しないが、外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、定常状態では速度指令値と一致するが、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題がある。

【0028】また、前述したように、特開平5-19861号公報には、工作機械の送り軸モータの位置等を制御する位置制御装置であって、位置制御ループと速度制御ループを備えた位置制御装置が開示されているように、位置制御装置の追従性能を高め、また、オーバシュートを無くすために位置制御ループにフィードフォワード制御方式が用いられ、これらの問題を解決しようとしているが、本来、追従性能およびオーバシュートの問題の起因は、位置制御によるものもあるが、基本的には速度制御の起因によるもので、これらの問題は位置制御のみで解決できるものではない。

【0029】このように、P I 速度制御によっては、加減速レートを有する速度指令の場合、変速領域から定速領域に移行する際に、イナーシャ負荷（電動機の回転速度）にオーバシュートが生ずる問題、負荷変動による速度変動が生じる問題等は、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の位置制御または速度制御の精度に大きく影響するため、送り精度および／または材料の切断精度が悪くなる。

【0030】また、工作機械等では、変速領域から定速領域に移行する際に生じる電動機の回転速度のオーバシュートは、同期位置制御時に軌跡誤差として現れ、加工物の形状精度を低下させたり、面荒さを低下させたりの問題がある。

【0031】そこで、本発明の目的は、P I 速度制御により生ずるオーバシュートが発生する問題、比例制御で外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題を解決し、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の速度制御の精度を向上させ、位置制御の送り精度、切断精度および工作機械等の加工物の形状精度を向上させることにある。

【0032】

【課題を解決するための手段】本発明の速度制御装置によれば、速度指令信号を一次遅れ要素を持った規範速度指令とした速度制御手段と、イナーシャ負荷から検出する速度信号をフィードバックする速度制御ループとを構成し、この速度制御ループに加速度フィードフォワード補償手段、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段およびイナーシャ同定手段を付加し、制御対象の動作特性

を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、例えば、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定することにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答（速度応答）を規範モデル応答に一致させるようにしている。

【0033】本発明は、加減速レートを有する速度指令を用いる速度制御装置において、前記速度指令を一次遅れ要素を持った規範速度指令に変換する規範モデル設定手段と、前記規範速度指令により、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷を制御する速度制御手段と、前記イナーシャ負荷の速度を検出する手段から速度検出値を求め帰還させ、前記速度検出値と前記規範速度指令とから速度誤差を求め制御する速度制御ループ手段と、前記速度制御ループ手段から求めたトルク指令と前記イナーシャ負荷の速度検出値とにより同定したイナーシャモデル値を出力するイナーシャ同定手段と、前記規範速度指令と前記同定したイナーシャモデル値とを乗算し微分処理して加速度フィードフォワード制御量を求め、加速度フィードフォワードを補償する手段と、前記速度制御器の出力である加速トルク補正值と前記加速度フィードフォワード制御量とを加算し、加速トルク制御量として出力する加速トルク指令手段と、前記加速トルク制御量を前記同定したイナーシャモデル値を除算し積分処理して推定速度を求め、前記推定速度と前記イナーシャ負荷より検出した速度検出値との速度差から生じる推定負荷外乱フィードフォワード制御量を求め推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段とを備え、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモードを設けることなく前記加速度フィードフォワードを補償する手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償する手段とを与えることにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答を規範モデル応答に一致させることを特徴とするものである。

【0034】本発明によれば、前記イナーシャ同定手段は、前記速度検出値を時間遅延を持った速度検出値に変換し、前記速度検出値との速度差、即ち、加速度を求める手段と、前記加速度を補正前イナーシャと演算し推定加速トルクを求める加速トルク推定手段と、前記加速トルク推定手段から出力した推定加速トルクを、前記トルク指令と演算することにより推定負荷トルクを求め、前記推定負荷トルクを前記トルク指令から減算して加速トルク指令を求め、この加速トルク指令から前記推定加速トルクを減算することにより同定誤差を求める手段と、前記同定誤差を補正することにより補正イナーシャを出力し、同定したイナーシャを時間遅延を持った補正前イナーシャに変換し、前記補正イナーシャとの和を求め同



定したイナーシャモデル値を出力する手段と、前記同定したイナーシャモデル値を前記加速度フィードフォワード補償手段および前記推定負荷外乱フィードフォワード補償手段に、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャとして同定のための特別定モードを設けることなく与える手段と、を有している。

#### 【0035】

【発明の実施の形態】本発明の速度制御装置の実施例について説明する。図1は、本発明の実施例である速度制御装置の構成を示すブロック図である。図2は、図1の速度制御装置を伝達関数で表したブロック図である。図3は、図1の速度制御装置に用いられるイナーシャ同定手段の構成を示すブロック図である。図5は、本発明の速度制御装置によりオーバシュートをなくした加減速レート図である。

【0036】図1を参照して、本発明の実施例である速度制御装置を説明する。この速度制御装置10は、規範モデル設定器11、加速度フィードフォワード補償手段12、減算器13、速度制御器14、加算器15、加算器16、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18、イナーシャ同定手段19により構成されている。

【0037】図2は、図1の速度制御装置を伝達関数を用いて表したブロック図で、加速度フィードフォワード補償手段12には微分器21が含まれ、推定負荷外乱フィードフォワード制御器18には、イナーシャ負荷モデル(積分器)22、減算器23、負荷外乱フィードフォワード制御器(係数K)24が含まれている。

【0038】規範モデル設定器11に速度指令 $\omega^*$ が入力されると、入力された速度指令 $\omega^*$ は、一次遅れ要素を持った規範速度指令 $\omega$ として出力される。この出力された規範速度指令 $\omega$ は、速度制御器14、加算器15、16を経由して、イナーシャ負荷20に入力され、イナーシャ負荷が駆動される。駆動されたイナーシャ負荷20から速度検出値 $\omega$ を検出し、その速度検出値 $\omega$ を減算器13にフィードバックして減算することにより、速度誤差 $e$ を出力する速度制御ループを構成している。

【0039】一方、規範モデル設定器11より出力された一次遅れ要素を持った規範速度指令 $\omega$ は、速度制御器14と加速度フィードフォワード補償手段12に各々入力され、速度制御器14からはトルク補正信号が出力される。

【0040】そして、加速度フィードフォワード補償手段12の微分器21により規範速度指令 $\omega$ を微分し、イナーシャ同定手段19により同定されたイナーシャモデル( $J_h$ )と演算することにより加速度トルク補正信号を出力し、この加速度トルク補正信号と速度制御器14の出力信号であるトルク補正信号とを加算器15で加算し、加速トルク信号 $\tau_{acc}$ として出力している。

【0041】この加速トルク信号 $\tau_{acc}$ は、加算器16と推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に各々

入力され、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に入力された加速トルク信号 $\tau_{acc}$ は、積分器22に入力され、加速トルク信号 $\tau_{acc}$ を積分しイナーシャ同定手段19により同定されたイナーシャモデル( $J_h$ )と演算することにより、推定速度 $\omega_h$ を出力する。

【0042】この推定速度 $\omega_h$ とイナーシャ負荷20により検出された速度検出値 $\omega$ とを減算器23で減算し、その信号を推定負荷外乱フィードフォワード制御器(係数K)24に入力し、設定された係数Kとにより演算し、その出力信号を負荷外乱トルク補正信号として、加算器16で加速トルク信号 $\tau_{acc}$ と加算して、トルク指令信号 $\tau^*$ として出力する。

【0043】このトルク指令信号 $\tau^*$ は、イナーシャ同定手段19とイナーシャ負荷20に入力される。イナーシャ負荷へのトルク指令信号 $\tau^*$ は、負荷外乱(変動) $\tau_L$ により減算され、イナーシャ負荷20を駆動する。

【0044】駆動したイナーシャ負荷20から検出された速度検出値 $\omega$ は、イナーシャ同定手段19に入力され、イナーシャ同定手段19に入力されたトルク指令信号 $\tau^*$ とにより演算し、イナーシャ同定手段19からイナーシャ負荷20のイナーシャモデル( $J_h$ )として、加速度フィードフォワード補償手段12および推定負荷外乱フィードフォワード補償手段18に供給する。

【0045】次に、イナーシャ同定手段19を、図3を参照して説明する。

【0046】イナーシャ同定手段19は、遅延回路31、減算器32、加速トルク推定器33、減算器34、同定誤差補正器35、加算器36、遅延回路37、減算器38、負荷トルク推定器39により構成されている。

【0047】先に述べたようにイナーシャ同定手段19は、加算器16で加算されたトルク指令信号 $\tau^*$ と、イナーシャ負荷20により検出された速度検出値 $\omega$ とが入力される。入力された速度検出値 $\omega$ は、遅延回路31に入力される。遅延回路31の出力と速度検出値 $\omega$ とが減算器32とにより減算される。

【0048】減算により得られた値 $\Delta\omega$ は、加速度として加速トルク推定器33に入力され、推定加速トルク $\tau_{ha}$ として出力される。この推定加速トルク $\tau_{ha}$ は、トルク指令信号 $\tau^*$ と共に負荷トルク推定器39に入力され、負荷トルク推定器39は推定負荷トルク $\tau_{hL}$ を出力する。

【0049】出力した推定負荷トルク $\tau_{hL}$ は、減算器38でトルク指令信号 $\tau^*$ から減算され、加速トルク指令信号 $\tau_a$ を出力する。この加速トルク指令信号 $\tau_a$ は、減算器34で推定加速トルク $\tau_{ha}$ が減算され、その減算した値を同定誤差信号として同定誤差補正器35に入力する。

【0050】同定誤差補正器35に入力された同定誤差信号は、補正イナーシャとして加算器36で補正前イナーシャと加算され、同定イナーシャ( $J_h$ )として出力

される。一方、同定イナーシャ ( $J_h$ ) は、遅延回路 37 に入力され、その出力は、補正前イナーシャとして加速トルク推定器 33 にフィードバックされる。

【0051】次に、イナーシャ同定手段 19 の同定について説明する。この同定は、逐次最小 2 乗法により、イ

$$J_h(n) = J_h(n-1) + T_s \frac{\gamma \Delta \omega(n) [\tau^*(n) - \tau_{hL}(n)] - J_h(n-1) \frac{\Delta \omega(n)}{T_s}}{1 + \gamma \Delta \omega^2(n)}$$

【0053】但し、 $\Delta \omega(n) = \omega(n) - \omega(n-1)$  : 速度変化率、 $T_s$  : サンプル時間、 $\gamma$  : 同定ゲインである。また、次式

【0054】

【数 6】

$$\tau_{hL}(n) = \tau^*(n) - J_h(n-1) \frac{\Delta \omega(n)}{T_s}$$

【0055】より、

【0056】

【数 7】

$$\left| \frac{\Delta \omega(n)}{T_s} \right| \approx 0$$

【0057】の一定速における負荷トルクとして推定負荷トルク  $\tau_{hL}$  を推定する。

【0058】次に、同定したイナーシャモデル ( $J_h$ ) を、図 2 の推定負荷外乱フィードフォワード補償手段 1

$$\omega = \frac{J_h s}{J_h s + K_v} \frac{1}{J_h s + K} \tau_L = \frac{1}{K K_v} \frac{J_h s}{(1 + \frac{J_h}{K_v} s) (1 + \frac{J}{K} s)} \tau_L$$

【0063】となる。

【0064】次に、イナーシャ負荷 20 がイナーシャモデル ( $J_h$ ) に固定されているので、加速度フィードフォワード補償手段 12 の微分器 21 に  $J_h s$  を与えることにより、

【0065】

【数 10】

$$\omega = \frac{1}{1 + \frac{J_h}{K_v} s} (1 + \frac{J_h}{K_v} s) \omega_m = \omega_m$$

【0066】となり、速度指令  $\omega^*$  に対する速度応答  $\omega$  は、

【0067】

【数 11】

$$\omega_m = G_m(s) \omega^*$$

【0068】となるので、 $\omega = G_m(s) \omega^*$  となり、規範モデル設定器 (規範モデル応答) 11 の  $G_m(s)$  と一致する。

【0069】この規範モデル設定器 11 を

ナーシャモデル ( $J_h$ ) を次式により求める。

【0052】

【数 5】

8 のイナーシャ負荷モデル (積分器) 22 に与えることにより推定速度  $\omega_h$  は、

【0059】

【数 8】

$$\omega_h = \frac{1}{J_h s} \tau_{ACC}$$

【0060】となり、実速度  $\omega$  との偏差は、負荷外乱により発生する速度偏差となる。推定負荷外乱フィードフォワード器 24 を通して高いゲインを与えると、負荷外乱  $\tau_L$  による速度変動が抑制可能となり、定常の負荷変動を有する粘性抵抗の小さいイナーシャ負荷 20 を、イナーシャモデル  $1/J_h s$  に固定することができる。

【0061】また、外乱応答は、同定イナーシャ  $J_h$  が制御対象のイナーシャ  $J$  に等しい ( $J_h = J$ ) の場合、

【0062】

【数 9】

【0070】

【数 12】

$$G_m(s) = \frac{1}{1 + T_m s}$$

【0071】となる一次遅れ応答に選択すれば、速度応答  $\omega$  は、

【0072】

【数 13】

$$\omega = \frac{1}{1 + T_m s} \omega^*$$

【0073】となり、図 5 に示すように、加減速に対する目標値応答にオーバシュートを発生することなく、且つ、負荷外乱  $\tau_L$  に対し速度偏差が生じない応答が得られる。

【0074】以上説明した通り、イナーシャ負荷 20 の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、即ち、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定し、同定したイナーシャ ( $J_h$ ) から得られる

推定速度 $\omega_0$ と実速度 $\omega$ の差から負荷外乱 $\tau_L$ を推定して推定負荷外乱フィードフォワード補償することにより、同定イナーシャモデル( $J_0$ )に固定可能となったイナーシャ負荷20に加速度フィードフォワード補償と、目標応答の規範モデルを与えることにより、可変速指令に対して速度応答を規範モデルの応答に一致させることが可能となり、同時に定常の負荷変動も抑制可能となり、上位に位置制御器を有する回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置、工作機械等の可変速制御装置の位置決め精度が向上する。

【0075】図4は、本発明の速度制御装置10を、ロータリーカッタ装置に適用した例を示す。

【0076】図4に示すように、軸方向周囲に刃を有する一対のロータリーカッタ2があり、このロータリーカッタ2の主軸には減速ギヤ3が取り付けられ、ロータリーカッタ2を駆動するための電動機4が結合されている。この電動機には、電動機の回転速度と電動機回転角、即ち、ロータリーカッタ2の主軸の回転角を検出するためのパルスジェネレータ5が備えられている。

【0077】一方、走行するシート1の移動量を検出するための測長ホイール7が備えられ、この測長ホイール7の軸には、移動量を検出するためのパルスジェネレータ8が備えられている。このロータリーカッタ2の数値制御装置は、位置制御装置40と、本発明に係る速度制御装置10とを備えている。位置制御装置40は、積分器41、位置指令発生器42、微分器43、加減算器44、積分器45、位置制御器(K<sub>v</sub>)46、加算器47、位置指令フィードフォワード補償( $\alpha$ )48、加算器49により構成されている。

【0078】シート1の走行に伴いパルスジェネレータ8より発生するパルスを、積分器41に入力する。入力されたパルスは、積分器41により時間積分されることにより材料移動距離Xとして出力され、位置指令発生器42に入力される。この位置指令発生器42は、切断長Lにしたがって作られた任意の速度指令に応じて材料移動距離Xの関数として位置指令 $f(x)$ を与える。

【0079】一方、ロータリーカッタ2の回転に伴いパルスジェネレータ5より発生するパルスからロータリーカッタ2の移動速度 $V_c$ が得られる。

【0080】位置指令発生器42の出力、即ち、位置指令 $f(x)$ を微分器43により時間微分することにより得られたカッタ速度指令 $df(x)/dt$ は、加減算器44により、材料速度 $V_L$ およびカッタ速度 $V_c$ と加減算され積分器45に入力され、位置偏差 $e$ が得られる。この位置偏差 $e$ は、位置制御器46に入力され補償速度 $V$ として出力される。

【0081】補償速度 $V$ には、加算器49、47により、カッタ速度指令および材料速度が加えられ、速度指令 $\omega^*$ が形成される。この速度指令 $\omega^*$ が、速度制御装置10に与えられる。速度制御装置10により、前述し

たようにしてトルク指令信号 $\tau^*$ が形成され、駆動制御回路6に供給される。

【0082】このロータリーカッタ装置によれば、本発明の速度制御装置を用いているので、切断精度が向上する。

【0083】

【発明の効果】本発明の速度制御装置によれば、速度指令信号を一次遅れ要素を持った規範速度指令とした速度制御手段と、イナーシャ負荷から検出する速度信号をフィードバックする速度制御ループとを構成し、この速度制御ループに加速度フィードフォワード補償手段、推定負荷外乱フィードフォワード補償手段およびイナーシャ同定手段を付加し、制御対象の動作特性を特徴づける制御パラメータであるイナーシャを同定のための特別なモード、例えば、ミュレーションモードあるいはオートチューニングモード等を設けることなく同定することにより、加減速レートの変速領域から定速領域に移行する際に生ずるオーバシュートを無くし、且つ、負荷変動による速度変動を抑制し、目標応答(速度応答)を規範モデル応答に一致させることにより、PI速度制御により生ずるオーバシュートが発生する問題、比例制御で外乱応答では負荷外乱に対し速度偏差が生じる問題、また、速度の立ち上がりにオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、または、オーバシュートが発生するという問題等を解決し、より高精度の速度制御をすることができるので、回転走行切断機、走行切断機、定寸送り装置等の速度制御の精度を向上させ、位置制御の送り精度、切断精度および工作機械等の加工物の形状精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施した速度制御装置を構成するブロック図である。

【図2】本発明の実施例である速度制御装置を伝達関数で表した制御ブロック図である。

【図3】本発明の速度制御装置に用いられたイナーシャ同定手段のブロック図である。

【図4】本発明を実施したロータリーカッタ制御装置のブロック図である。

【図5】本発明を実施した速度制御装置によりオーバシュートをなくした加減速レート図である。

【図6】従来の速度制御ブロック図である。

【図7】従来の速度制御装置を伝達関数で表した制御ブロック図である。

【図8】従来の加減速レート図である。

【符号の説明】

- 1 走行する材料
- 2 ロータリーシャ
- 3 ギヤ
- 4 電動機
- 5 パルスジェネレータ

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 6 駆動制御回路                       | 32 減算器                          |
| 7 測長ロール                        | 33 加速トルク推定器                     |
| 8 パルスジェネレータ                    | 34 減算器                          |
| 10 速度制御装置                      | 35 同定誤差補正器                      |
| 11 規範モデル設定器 ( $G_s$ (S))       | 36 加算器                          |
| 12 加速度フィードフォワード補償手段            | 37 遅延回路 ( $Z^{-1}$ )            |
| 13 減算器                         | 38 減算器                          |
| 14 速度制御器 ( $K_v$ )             | 39 負荷トルク推定器                     |
| 15 加算器                         | 40 位置制御装置                       |
| 16 加算器                         | 41 積分器                          |
| 17 減算器                         | 42 位置指令発生器                      |
| 18 推定負荷外乱フィードフォワード補償手段         | 43 微分器                          |
| 19 イナーシャ同定手段 (器)               | 44 加減算器                         |
| 20 イナーシャ負荷制御対象 ( $1/J_s$ )     | 45 積分器                          |
| 21 加速度フィードフォワード補償器 ( $J_h s$ ) | 46 位置制御器 ( $K_p$ )              |
| 22 イナーシャ負荷モデル ( $1/J_h s$ )    | 47 加算器                          |
| 23 減算器                         | 48 位置指令フィードフォワード補償 ( $\alpha$ ) |
| 24 負荷外乱フィードフォワード制御器 ( $K$ )    | 49 加算器                          |
| 31 遅延回路 ( $Z^{-1}$ )           |                                 |

フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 2 P 5/00		H 0 2 P 5/00	S
F ターム (参考)	5H004 GA03 GA04 GB15 HA08 HB08 JA03 JB02 JB22 KA72 KB02 KB22 KB32 KB33 KB37 KC33 KC42 KC56 5H313 AA11 AA12 AA13 BB01 BB05 CC02 DD01 GG02 GG14 HH05 KK12 MM11 MM19 MM20 MM21 MM28 5H550 AA18 EE05 FF02 FF03 FF04 GG03 JJ04 JJ24 JJ25 LL01 9A001 GG10 HH34 KK29		

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**